

Ⅲ-13 高温の影響を受ける岩盤の挙動の計測法に関する一考察

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田善紀
愛媛大学工学部 正会員 木下尚紀
愛媛大学大学院 学生員 ○佐藤善政
愛媛大学大学院 学生員 福岡正志

1. はじめに

地山岩盤内に熱水を貯蔵する場合、高温の影響による温度分布が空洞周辺岩盤に生じ、それに伴う熱応力が発生することが予想され、空洞の安定性が問題となる。そのため、発生する熱応力および熱ひずみを把握する必要があり、高温状態においても可能な測定法を確立する必要がある。

本研究では、岩石ブロック供試体を用いて温度分布および熱応力を測定する室内実験を行った。また、温度分布および熱応力、ひずみ分布を解析により求めると同時に室内実験結果と比較し考察する。

2. 実験方法

実際には図1に示すような配置で計測することを想定しているが、本実験では空洞表面付近の一部を模した岩石供試体に生ずるひずみと温度の経時変化を測定し、熱応力によるひずみを求めた。実験装置の概念図を図2に示す。本実験では一辺が30cmの立方体の花崗岩（愛媛県越智郡宮窪町産；通称大島みかげ）の供試体の中央に $\phi 8 \times 30\text{cm}$ の計測ボーリング孔を設け、あらかじめボーリングコアにひずみゲージを貼付し、後述のように見かけひずみを測定したものを孔内に埋め戻し、周囲を充填した。ここでは、ボーリングコアと岩石を一体化させる方法として、土木、建築分野で使用されている超速硬セメントモルタルを充填材として使用した。また、同時にひずみゲージと同じ深さの位置に熱電

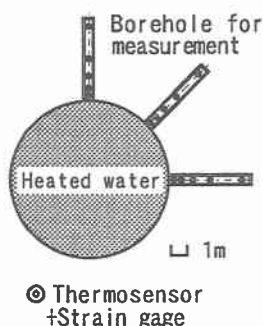


図1 計測の概念図

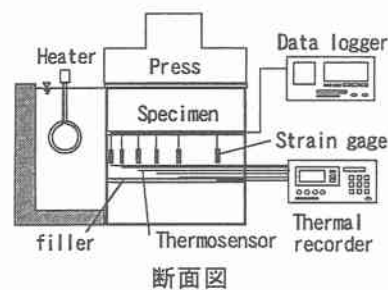


図2 実験装置

対を設置した。岩石ブロックの側面をボルト締めにより拘束板にて拘束を与え、鉛直方向に 100kgf/cm^2 （一定）の荷重をかけた。供試体の側面および底面には熱膨張する際の摩擦をなくするため、テフロンシートを敷いた。また、供試体の側面は断熱材で覆い、外気の影響を受けないようにした。熱源は 100°C の熱水を使用し、実験開始から終了まで絶えず確実に温度を保持するためにヒーターを使用した。

3. 高温下における見かけひずみ特性

ひずみゲージにより、温度が変化している環境下でひずみ測定を行う場合、被測定物のひずみだけが測定されるのではなく、以下に示すような影響を受けると考えられる。

- (i) リード線の温度による影響
- (ii) ひずみゲージの抵抗線と被測定物の線膨張係数の相違による抵抗

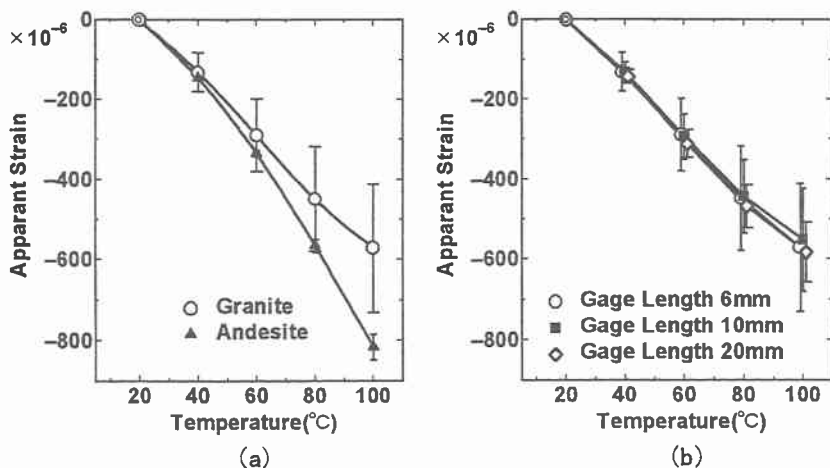


図3 高温下における岩石の見かけひずみ特性

変化による影響

本実験では (i) の影響を消去するために 3 線結線法を用いた。また、(ii) の影響については、花崗岩の線膨張係数に類似する自己温度補償ゲージを使用して抵抗変化を小さくし、見かけひずみ特性を求め補正することにした。

高温下における花崗岩の見かけひずみ特性を図 3(a)に示す。比較のために安山岩（愛媛県上浮穴群久万町産）の値も示している。いずれの岩石も温度上昇に伴い見かけひずみの値は大きくなる。また、花崗岩は安山岩に比べ温度上昇に伴い値のばらつきが大きい。これは、岩石の構成鉱物粒子の大きさの違いによるものと考えられる。次に、花崗岩においてゲージ長 6mm、10mm および 20mm のもので同様の実験を行った結果を図 3(b)に示す。いずれも温度上昇に伴い値のばらつきは小さくなるものの、ゲージ長が長いものほどばらつきは小さくなることわかる。このことより室内実験では 3 線自己温度補償ゲージ（ゲージ長 20mm）を用いることとした。

4. 温度分布

温度分布の測定結果と解析値を比較したものを図 4 に示す。本解析では、実験モデルを対象とし、複合材料問題に対応した要素分割法¹⁾により温度分布の経時変化を求めた。なお、比較のために花崗岩のみの解析結果も示している。いずれの場合にも初期の時間には急激な温度勾配を示しているが、時間の経過とともに緩やかになることがわかる。充填材を含んだ複合材の温度分布は花崗岩のみの場合と比べ、熱伝導に多少遅れがみられるもののほとんど無視できる程度のものであることがわかる。また、測定結果と解析値とはほぼ一致していることがわかる。

5. 応力分布

熱応力によるひずみの経時変化を図 5 に示す。熱源に近い表面から 1 ～3cm の場所では温度変化の激しい初期の時間に熱応力によるひずみの変化も大きく、温度変化が緩やかになるとひずみも緩やかに増加している。

次に、実験開始 1 時間後の熱応力の測定結果と解析値を比較したものを図 6 に示す。本解析では、前述の温度分布の解析結果をもとに熱応力を考慮した有限要素法を用いて応力分布を求めた。解析に用いた花崗岩および充填材の高温下における強度・変形特性は、それぞれ別の実験で得られた値を使用した。本実験では供試体の大きさに制約を受けるので、短時間の測定にすぎないが、測定結果と解析値は比較的良好な傾向を示していることがわかる。

6. まとめ

室内実験による温度分布、熱応力およびひずみの値は解析の結果とほぼ同様の値を示すことから、今回の方法を用いると実際に地山岩盤内空洞に熱水を貯蔵した際の空洞周辺岩盤の挙動が計測できるものと考えられる。

参考文献 1) 稲田善紀：岩盤工学，182～185 頁，森北出版，1997。

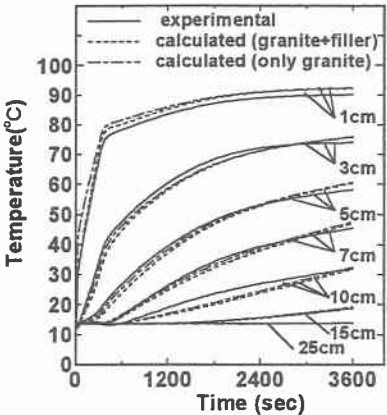


図 4 温度分布の測定結果と解析値の比較

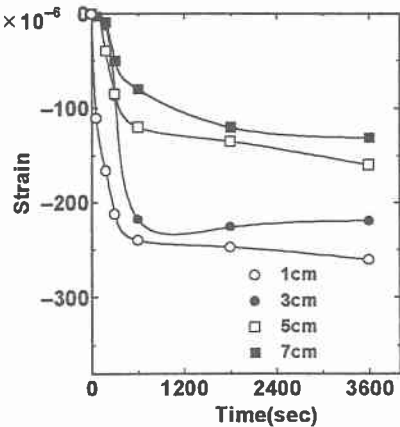


図 5 ひずみの経時変化

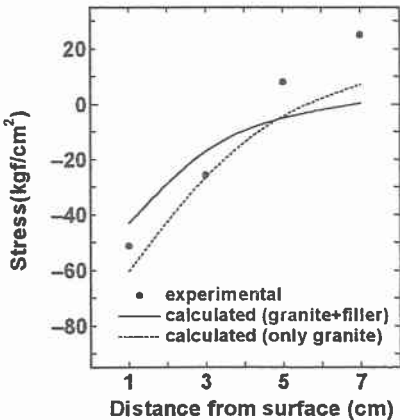


図 6 熱応力の測定結果と解析値の比較